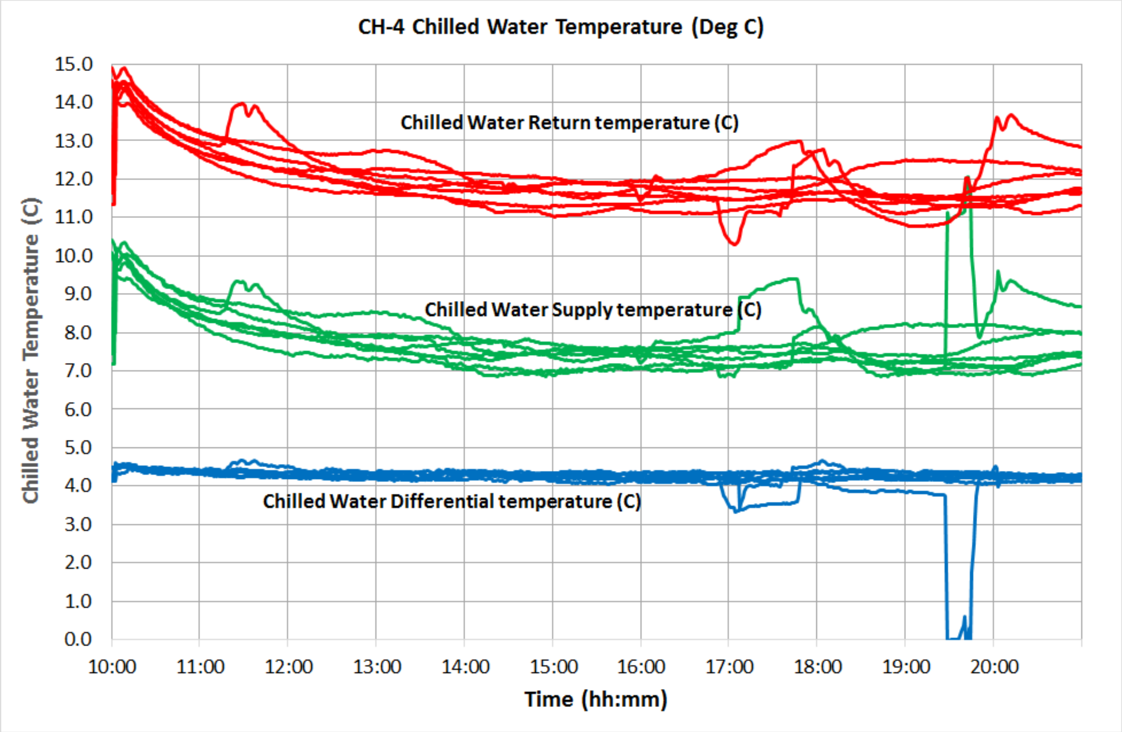
Chillers Performance Analysis

ရှောပင်း စင်တာ(shopping center)အဖြစ် အသုံးပြုသည့် အဆောက်အဦတစ်ခုတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် chilled water plant ကို energy audit လုပ်၍ ရရှိသည့် ဒေတာများကို အခြေခံ၍ ထို plant မှ chiller များ၏ performance အား လေ့လာ၍ operation ပိုကောင်းစေရန် ပြုလုပ်နိုင်သည့် နည်းများကို ဆွေးနွေးတင်ပြထားသည်။

ရှောပင်း စင်တာ ဖြစ်သောကြောင့် နံနက်(၁၀)နာရီ အချိန်တွင် chilled water plant ကို စမောင်းသည်။ ည(၉)နာရီ အချိန်တွင် ရပ်တန့်သည်။ ထို့ကြောင့် ဒေတာများကို ဖော်ပြသည့်အခါ နံနက်(၁၀) နာရီမှ ည(၉) နာရီ အထိသာ ဂရပ်ဆွဲ၍ ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ - ၁ Operating chilled water temperature parameters of 1000RT water cooled centrifugal chiller

1000RT water cooled centrifugal chiller တစ်လုံးနှင့် 500RT water cooled centrifugal chiller တစ်လုံး တို့၏ performance အား လေ့လာပုံ ကိုဖော်ပြထားသည်။

Chilled water Plant တွင် chiller (၈) လုံး တပ်ဆင်ထားသည့်အနက်မှ (၂) လုံး အကြောင်းကို အသေးစိတ် ဖော်ပြဆွေး နွေးထားသည်။

Chiller များ၏ parameter များကို measuring instrument များဖြင့် တိုင်းတာသည်။ Chiller တစ်လုံးချင်းစီ၏

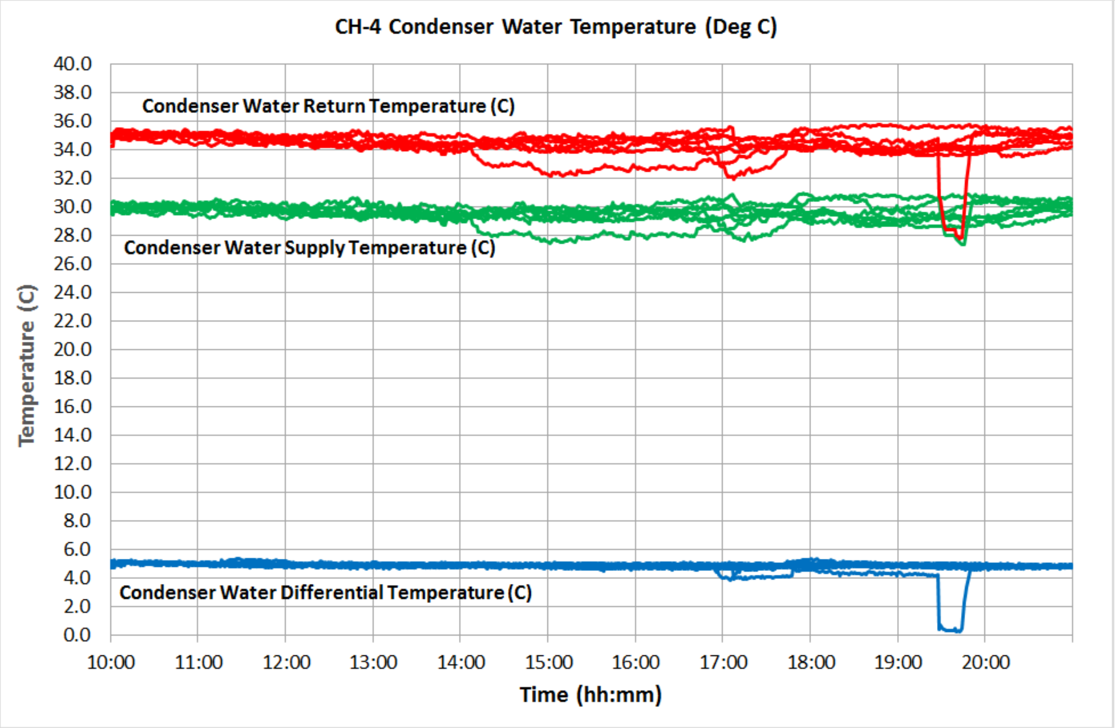
Chilled water supply temperature (°C)
Chilled water Return temperature (°C)
Chilled water Flow Rate (GPM)
Condenser water supply temperature (°C)
Condenser water Return temperature (°C)
Condenser water Flow Rate (GPM)

Chiller power consumption (KW)

Chilled water pump ၊ condenser water pump နှင့် cooling tower များတွင် variable speed drive (VSD)များ တပ်ဆင်ထားခြင်း မရှိပါ။

Chiller များ၏ chilled water leaving (supply) temperature setpoint သည် 6.7°C ဖြစ်သော်လည်း chiller များ သည် setpoint သို့ရောက်အောင် မောင်းမပေးနိုင်သည်ကို တွေ့ရသည်။ ပုံ (၁)တွင် လေ့လာနိုင်သည်။

ဒီဇိုင်း chilled water return temperature သည် 12.2°C အနည်းငယ် ပိုမြင့်သည့်အခါ ရှိသည်။ အဘယ်ကြောင့် setpoint 6.7°C မရရှိနိုင်သည်ကို စစ်ဆေးသင့်သည်။ Chilled water flow သည်လည်း ဒီဇိုင်း flow 2400GPM ခန့်ဖြစ်သည်။

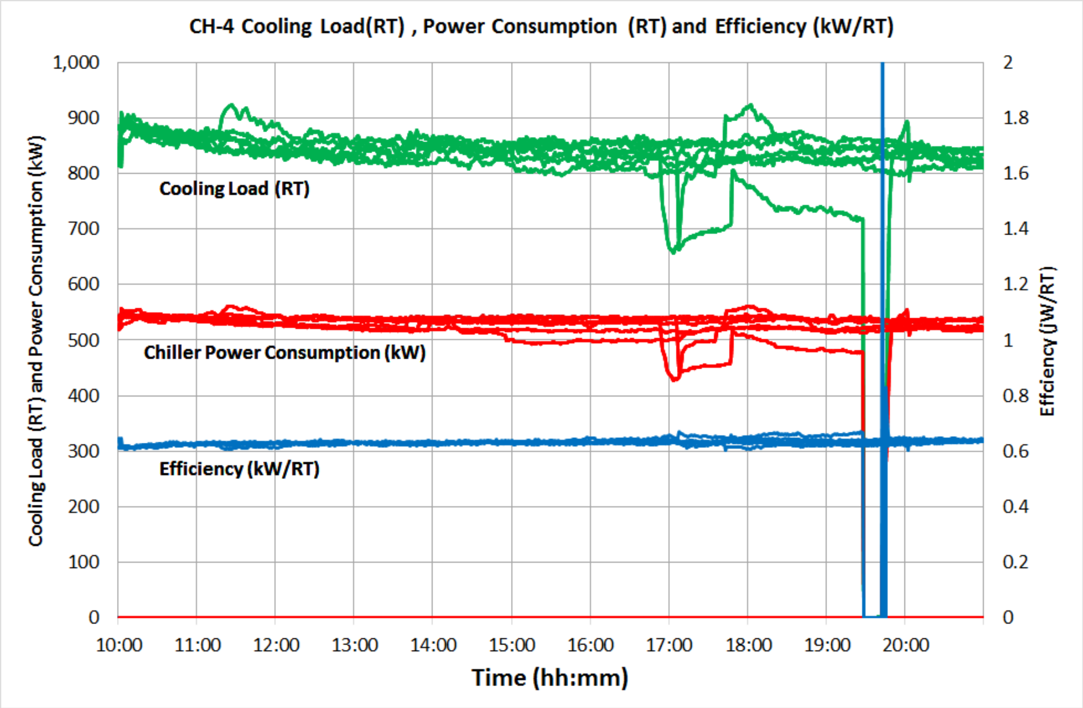


ပုံ - ၂ Operating condenser water temperature parameters of 1000RT water cooled centrifugal chiller

Condenser water pipe configuration သည် one to one configuration ဖြစ်သည်။ One to one configuration ဆိုသည်မှာ chiller တစ်လုံးနှင့် cooling tower တစ်လုံးကို သီးခြား ပိုက်တစ်စုံစီဖြင့် ဆက်သွယ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် chiller တစ်လုံးကို cooling tower (၂)လုံး သို့မဟုတ် (၃)လုံး စသည်ဖြင့် တွဲ၍ မောင်းရန် မဖြစ်နိုင်ပါ။

Condenser water supply temperature သည် 29.4°C ထက် အနည်းငယ် ပိုများသည်။ Cooling tower performance မကောင်း သောကြောင့်လည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ Cooling tower capacity သည် ရှိသင့်သည့် heat rejection capacity ထက် အနည်းငယ် ပိုနည်းခြင်းဖြစ်နိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် cooling tower မှ heat rejection မကောင်းဟု ကောက်ချက်ချနိုင်သည်။

Cooling tower အနီး၌ လေဝင်လေထွက်မကောင်းခြင်း သို့မဟုတ် လေပူများ ဝင်ရောက်နေခြင်း ဖြစ်နိုင်သည်။ Condenser water differential temperature သည် 4.5°C ခန့် ဖြစ်သည်။ ပုံမှန်အားဖြင့် cooling tower များ ၏ differential temperature သည် 5.5 ဖြစ်သည်။ Chiller ၏ AHRI parameter များကို အခြေခံ၍ cooling tower များ၏ အရွယ်အစားကို ရွေးချယ်ကြသည်။



ပုံ - ၃ 1000RT water cooled centrifugal chiller cooling load(RT), power consumption(kW) and efficiency (kW/RT)

ပုံ (- ၃) သည် 1000RT water cooled centrifugal chiller ၏ energy audit လုပ်ချိန်တွင် မောင်းနေသည့် cooling load (RT) ၊ power consumption(kW) နှင့် efficiency (kW/RT) တို့ဖြင့် ဆွဲထားသည့် ပုံဖြစ်သည်။ Cooling load(RT)နှင့် power consumption(kW)တို့ အတွက် ဘယ်ဘက်မှ Y axis တွင် တန်ဖိုးများကို ဖတ်ယူနိုင်သည်။ Efficiency (kW/RT)အတွက် ညာဘက်မှ Y axis တွင် တန်ဖိုးများကို ဖတ်ယူနိုင်သည်။

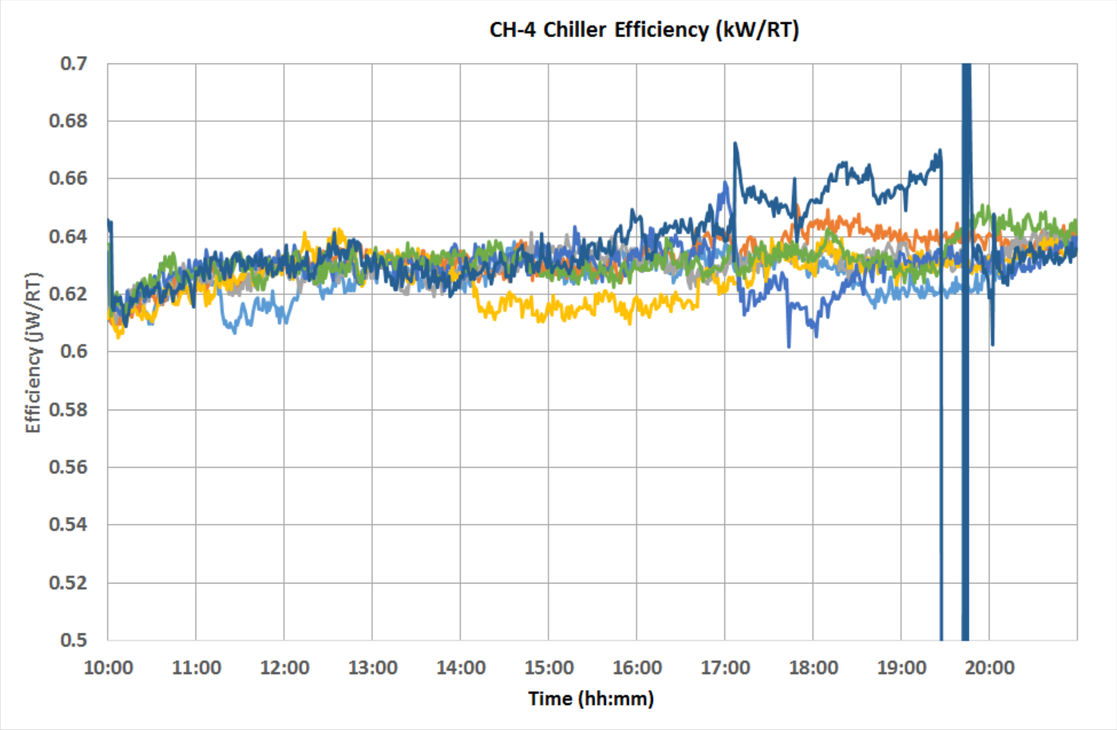
ဤဂရပ်မှ chiller မောင်းနေသည့် loading range ကိုလည်း သိနိုင်သည်။ Chiller ၏ rated capacity သည် 1000RT ဖြစ်သည်။ Energy audit လုပ်ချိန်တွင် မောင်းနေသည့် cooling load သည် 800RT မှ 850RT အကြားတွင် ဖြစ်သည်။

1000RT chiller သည် 800RT (80%) နှင့် 850RT (85%) အတွင်း၌ မောင်းခြင်းသည် cooling load နှင့် chiller အရွယ်အစား (size) တို့ကိုက်ညီသည်။ Match ဖြစ်သည် ဟု ကောက်ချက်ချနိုင်သည်။

VSD မတပ်ဆင်ထားသည့် centrifugal chiller များ၏ efficiency အကောင်းဆုံးနေရာ(sweet sport)သည် 80% နှင့် 90% load အနီးအနားတွင် ဖြစ်သည်။

Efficiency သည် 0.6 နှင့် 0.63 kW/RT အကြားတွင် ဖြစ်သည်။ ထို efficiency နှင့် manufacturer မှထုတ်ပေးသည့် chiller performance data sheet မှ value များနှင့် နှိုင်းယှဉ်၍ ဆုံးဖြတ်သင့်သည်။

Chiller သည် တည်ငြိမ်သည့်(stable) cooling load ကို မောင်းနေခြင်းဖြစ်သောကြောင့် ဂရပ်များတွင် parameter အတက်အကျများခြင်း မဖြစ်ပေါ်သည်ကို တွေ့မြင်နိုင်သည်။

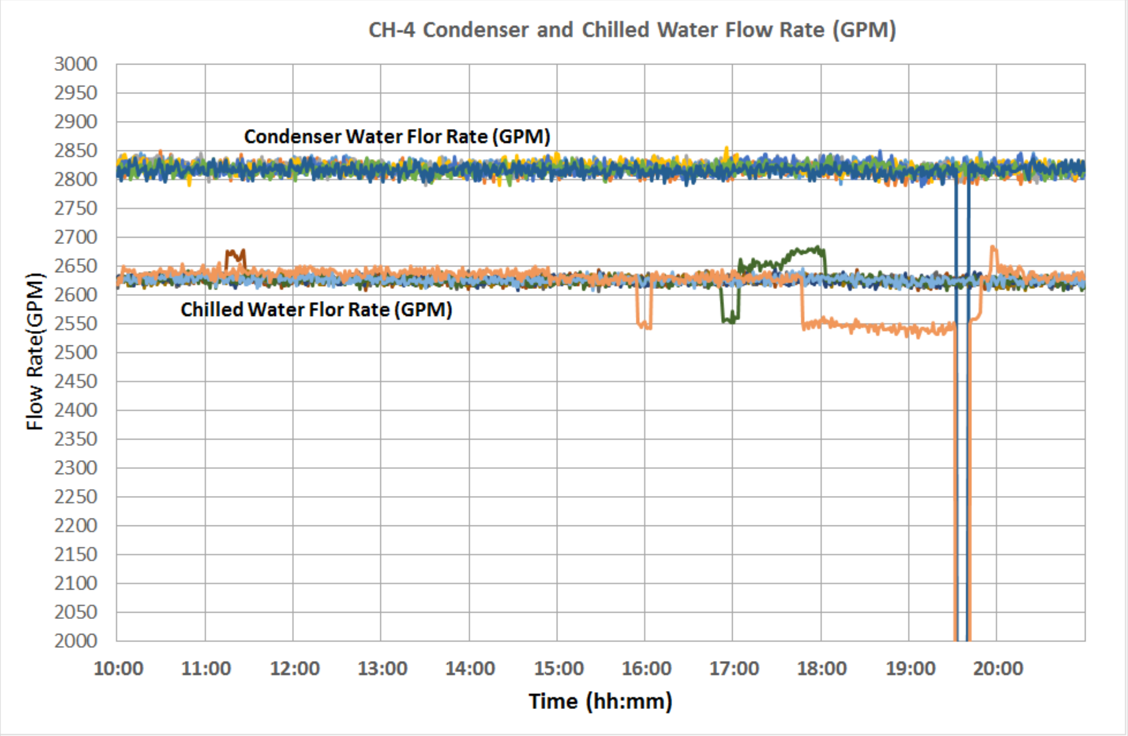


ပုံ - ၄ 1000RT water cooled centrifugal chiller efficiency (kW/RT)ကို စကေးချဲ့၍ ဆွဲထားသည့်ပုံ

ပုံ (-၄)သည် chiller efficiency ကို စကေးချဲ့၍ ဖော်ပြထားသည့်ပုံ ဖြစ်သည်။ ပျမ်းမျှအားဖြင့် 0.62 နှင့် 0.63 kW/RT အကြားတွင် chiller သည် တည်ငြိမ်စွာ မောင်းနေသည်ဟု ကောက်ချက်ချနိုင်သည်။

Chiller efficiency ကို လေ့လာဆန်းစစ်ခြင်း ပြုလုပ်ရုံသာမက chilled water pump ၊ condenser water pump နှင့် cooling tower တို့၏ efficiency ကိုလည်း လေ့လာဆန်းစစ်သင့်သည်။ ထို equipment များ အားလုံး၏ တစ်ခုချင်းစီ၏ efficiency ကို နှိုင်းယှဉ်နိုင်ရန်နှင့် အချက်အလက်များအားလုံးကို ခြုံငုံ၍(overall) လေ့လာသုံးသပ်၍ ဂရပ်တစ်ခုပေါ်တင်၍ ရေးဆွဲခြင်းသည် အကောင်းဆုံး ဖြစ်သည်။

ပုံမှန်အားဖြင့် water cooled centrifugal chiller တစ်လုံး၏ efficiency သည် 0.6 kW/RT ထက် ပိုမများသင့်ပေ။ ထို့ကြောင့် ယခုလက်ရှိ လေ့လာနေသည့် chiller efficiency ပိုကောင်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည့် နည်းများကို ရှာဖွေသင့်သည်။



ပုံ - ၅ 1000RT water cooled centrifugal chiller's chilled water and condenser water flow rate

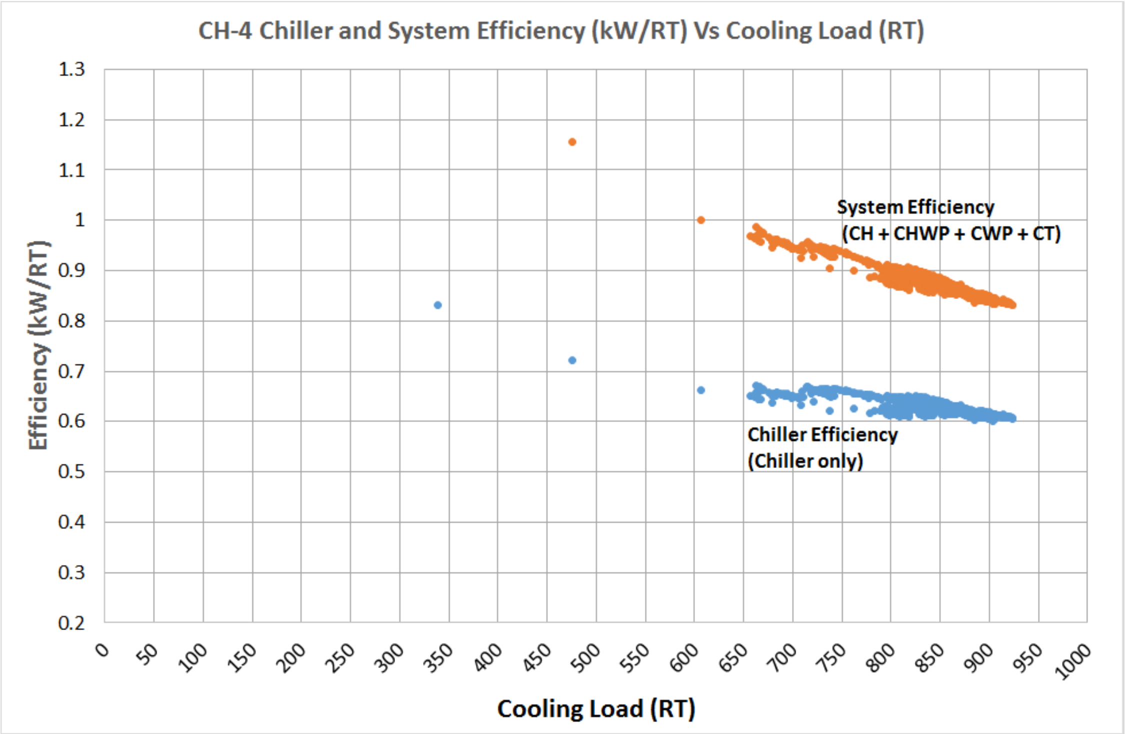
ပုံ (- ၅)တွင် 1000RT chiller ၏ condenser water flow သည် 2820 GPM ခန့် ဖြစ်သည်။ Chilled water flow သည် 2630 GPM ခန့်ဖြစ်သည်။

AHRI condenser water flow rate သည် 3 GPM/RT ဖြစ်သောကြောင့် 1000RT chiller ၏ condenser water flow rate သည် 3000GPM ဖြစ်သင့်သည်။ AHRI condenser water flow rate ထက် အနည်းငယ် နည်းသည်ဟု ဆိုနိုင်သည်။

AHRI chilled water flow rate သည် 2.4 GPM/RT ဖြစ်သောကြောင့် 1000RT chiller ၏ condenser water flow rate သည် 2400GPM ဖြစ်သင့်သည်။ AHRI chilled water flow rate ထက် အနည်းငယ် ပိုများသည်ဟု ဆိုနိုင်သည်။

AHRI flow rate အတိုင်း မောင်းနေခြင်း၊ ပိုနည်းခြင်း၊ ပိုများခြင်း စသည့်အချက်အလက်များကို လေ့လာ ဆန်းစစ်ရန် လိုအပ်သည်။ ထို့သို့လေ့လာခြင်းဖြင့် optimize လုပ်မည့်နည်းများကို ခန့်မှန်းနိုင်သည်။ AHRI flow rate ထက် ပိုများ၍ မောင်းခြင်းကြောင့် မည်သည့် အကျိုးရလဒ်များကို ရနိုင်သည်။ မည်သည့်ဆိုးကျိုးများကို ရင်ဆိုင် ရနိုင်သည် စသည့် အချက်များကို သိရှိနားလည်ထားရန် လိုအပ်သည်။

ဂရပ်ပေါ်တွင် flow rate လိုင်းသည် မျဉ်းဖြောင့်အတိုင်းဖြစ်နေသောကြောင့် VSD တပ်ဆင်ထားခြင်း မရှိကြောင်း သေချာသည်။



ပုံ - ၆ 1000 RT Chiller efficiency နှင့် system efficiency ကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားပုံ

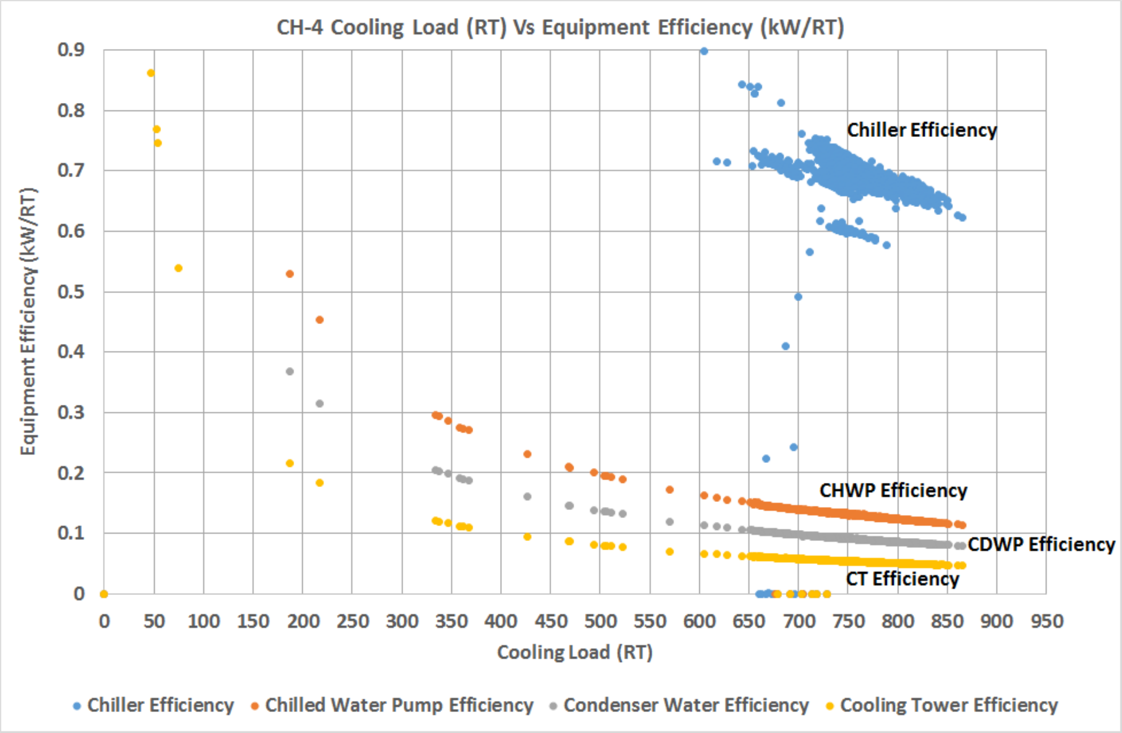
Variable Speed Drive (VSD) မတပ်ဆင်ထားသည့် equipment များ ဖြစ်သောကြောင့် cooling load နည်းသွားသည့်အခါ equipment တစ်ခုချင်းစီ၏ efficiency သည် ဆိုးဝါးညံ့ဖျင်းလာသည်။

Cooling tower efficiency သည် အနည်းဆုံး ဖြစ်သည်။ Cooling tower efficiency သည် Cooling tower ၏ heat transfer area ၊ infill များကောင်းမကောင်း၊ လေဝင်လေထွက်(ventilation) ကောင်းမကောင်း စသည့်အချက်များ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

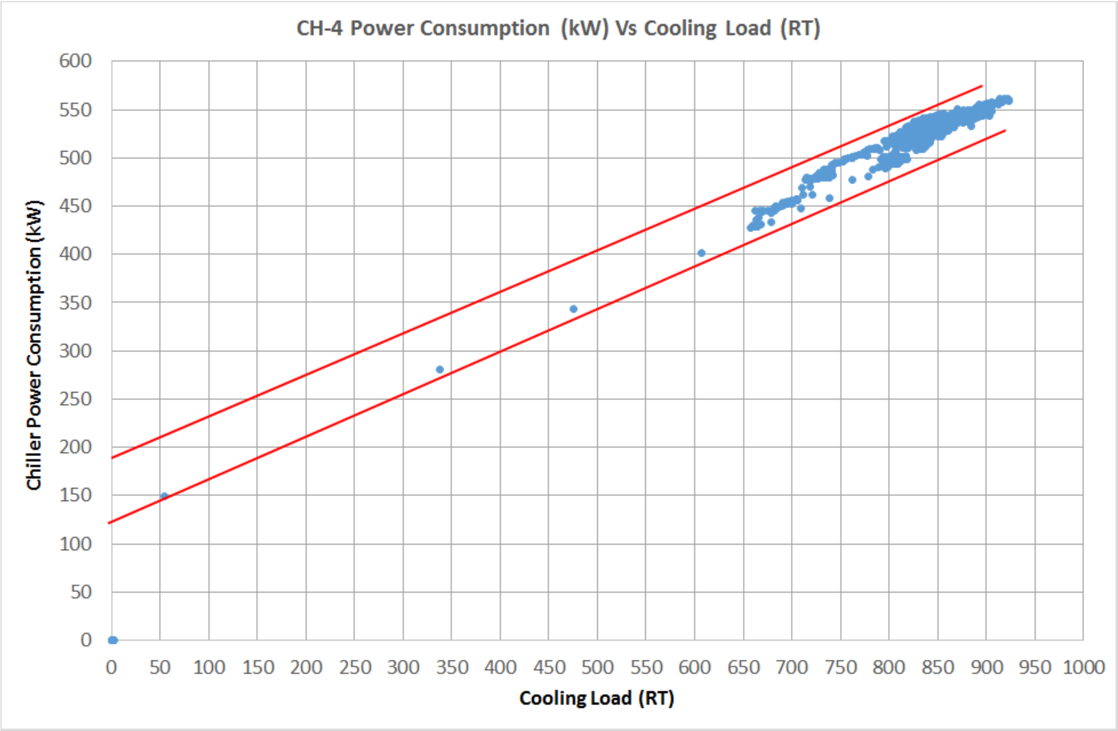
Chilled water pump efficiency သည် chiller water flow နှင့် pump head အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Chiller water flow ကို Variable Speed Drive (VSD)တပ်ဆင်၍ လိုသလောက် ရအောင် control လုပ်နိုင်သည်။ CHW pump head သည် chilled water flow ၊ ပိုက်အရွယ်အစား နှင့် ပိုက်အရှည်၊ elbow ၊ Tee စသည့် ပိုက် fitting များ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Chilled water flow ကို လျှော့ချနိုင်ပါက CHW pump head လျော့နည်းသည်။ နှစ်ထပ်ကိန်း တန်ဖိုးဖြင့် လျော့နည်းသည်။ ဥပမာ - chilled water flow ကို 80% လျှော့ချနိုင်ပါက pump head သည် ၆၄% အထိ နိမ့်ဆင်းသွားလိမ့်မည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် တပ်ဆင်ပြီးပါက ပိုက်အရွယ်အစား နှင့် ပိုက်အရှည်၊ fitting ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် pump head ကို လျှော့ချရန် ခက်ခဲသည်။ Condenser water pump သည်လည်း ထို့အတူပင် ဖြစ်သည်။ Chiller efficiency အကြောင်းကို တခြားခန်းများတွင် အသေးစိတ် ရေးသားပြီးဖြစ်သည်။

ပုံ(-၇) သည် chiller efficiency နှင့် system တို့၏ နှိုင်းယှဉ်ဖော်ပြချက် ဖြစ်သည်။ AHRI က သတ်မှတ်ပေးထားသည့်အချက်များအရ system efficiency သည် 0.85 kW/RT ထက် ပိုများနေပါက improvement ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်နေသည်။ ပုံမှန်အားဖြင့် Shopping center ၊ office building စသည့် commercial အဆောက်အဦများအတွက် chilled water pump ၊ condenser water pump နှင့် cooling tower efficiency တို့၏ efficiency စုစုပေါင်းသည် 0.1 kW/RT ခန့် ဖြစ်သင့်သည်။



ပုံ - ၇ 1000 RT Chiller efficiency ၊ chilled water pump ၊ condenser water pump နှင့် cooling tower efficiency တို့ကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားပုံ



ပုံ - ၈ Power consumption Vs cooling load

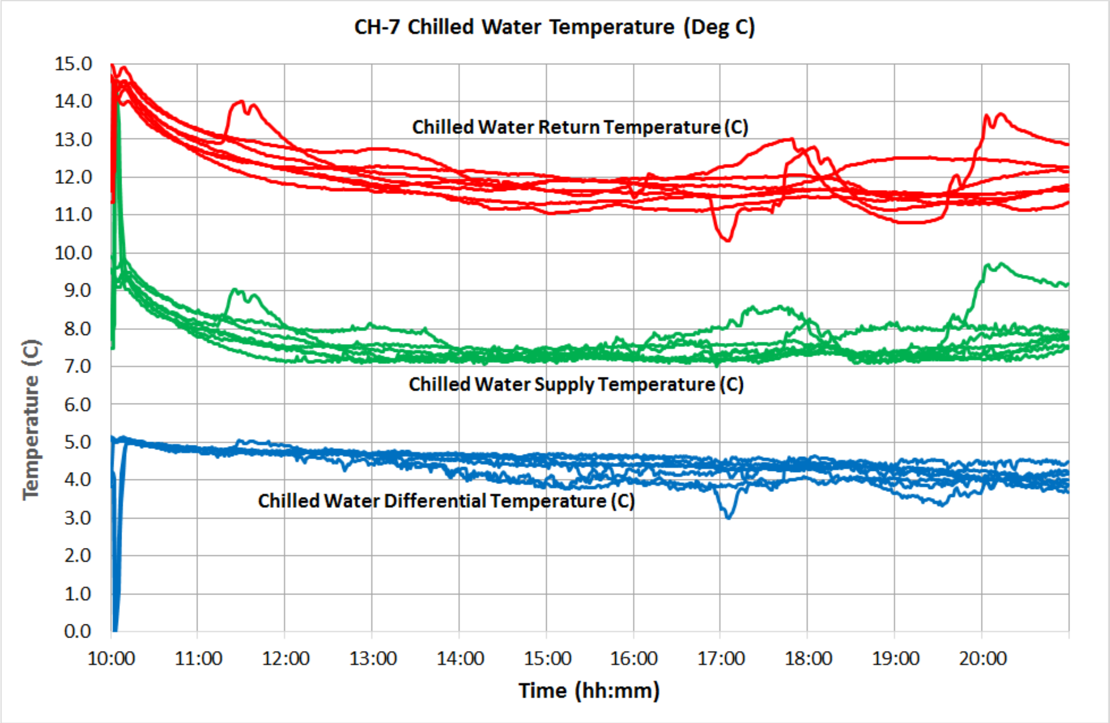
Cooling load(RT) နှင့် power consumption(kW) တို့ဆက်စပ်နေပုံ ဖော်ပြထားခြင်း ဖြစ်သည်။ လိုင်း၏ slop သည် efficiency ဖြစ်သည်။

Slop သည် y တန်ဖိုးကို တည်၍ x နှင့် စားထားခြင်း ဖြစ်သည်။

$$\text{Slop} = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$$

Slop ၏ gradient ပိုမြင့်လေ efficiency ညံ့ဖျင်းလေ ဖြစ်သည်။

500RT Chiller Water Cooled Centrifugal Chiller



ပုံ - ၉ Operating chilled water temperature parameters of 500RT water cooled centrifugal chiller

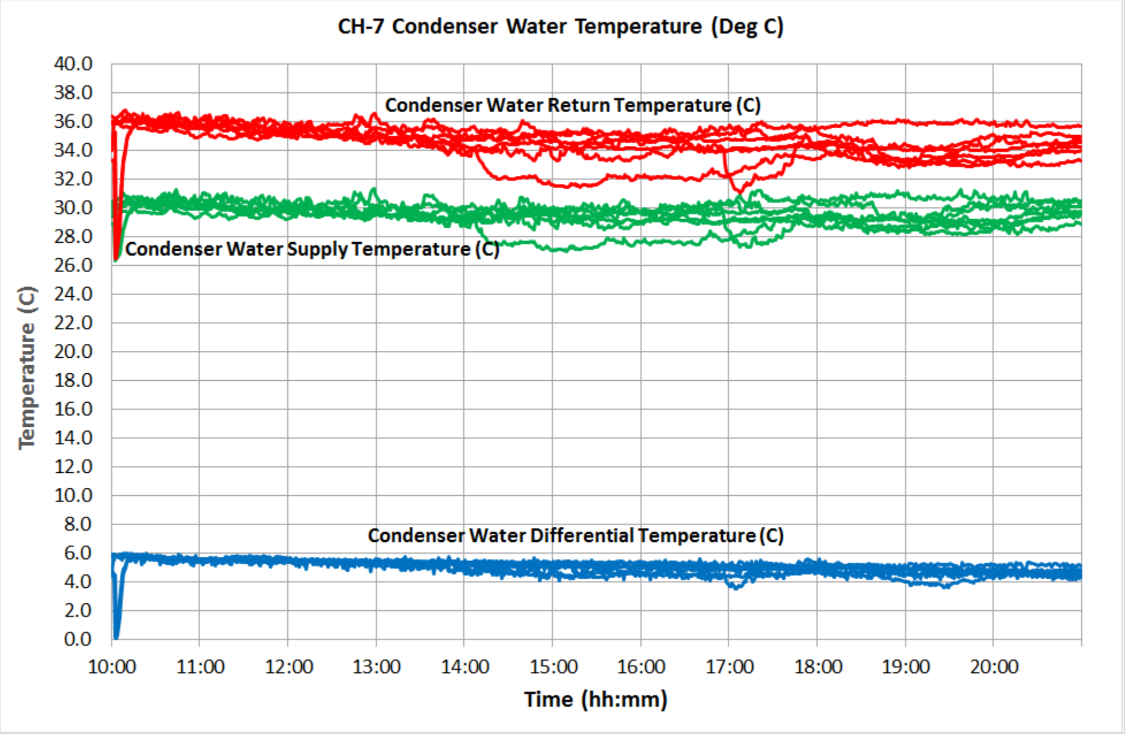
ပုံ (-၉) သည် 500RT water cooled centrifugal chiller တစ်လုံး၏ chilled water temperature များ ဖြစ်သည်။

Setpoint သည် 6.7°C ဖြစ်သော်လည်း chiller သည် setpoint ရောက်အောင်မောင်းနိုင်ခြင်း မရှိပေ။

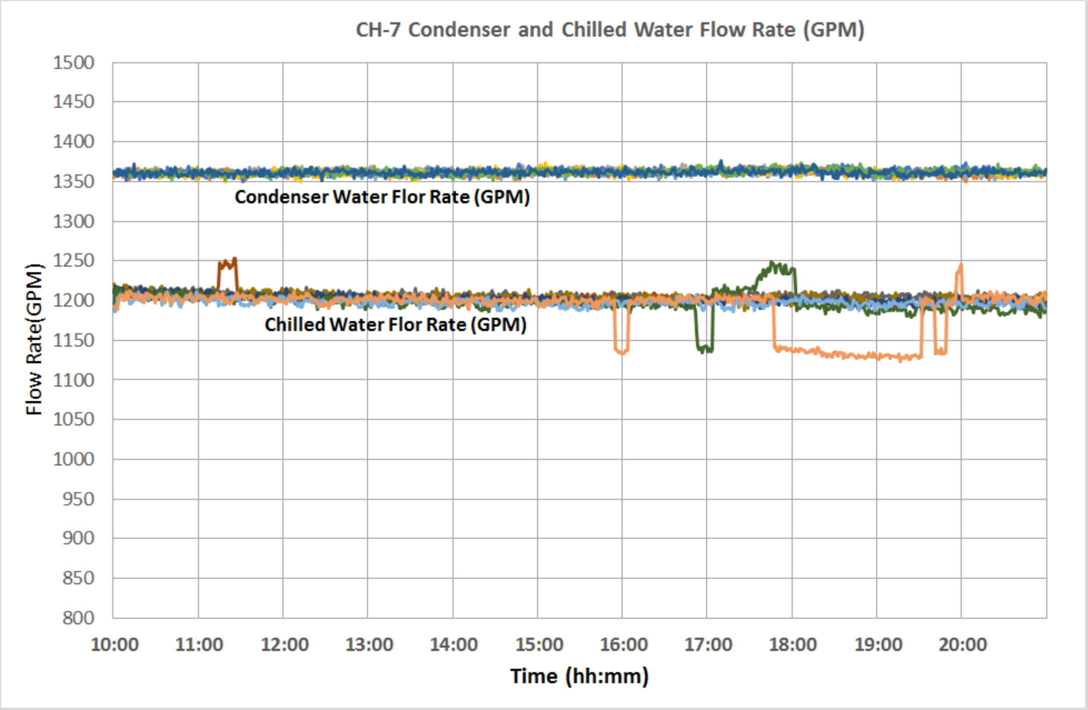
Differential temperature သည် 4.0 °C နှင့် 5.0 °C အကြားတွင် ရှိသည်။ Differential temperature သည် ရှိသင့်သည့် 5.5°C ထက် အနည်းငယ် နည်းသည့်ဟု သတ်မှတ်နိုင်သော်လည်း chilled water pump များတွင် VSD မတတ်ဆင်ထားသည့်အခါ cooling load လည်းခြင်းကြောင့် chilled water return temperature နိမ့်ကာ differential temperature နည်းရခြင်း ဖြစ်သည်။

Condenser water supply temperature သည် 29.5°C နှင့် 30.5°C အကြားတွင် ရှိသည်။ Cooling tower ၏ performance ကို စစ်ဆေးရန် လိုသည်။

Condenser water differential temperature သည် 5.5 °C ခန့် ဖြစ်သည်။



ပုံ - ၁၀ Operating condenser water temperature parameters of 500RT water cooled centrifugal chiller

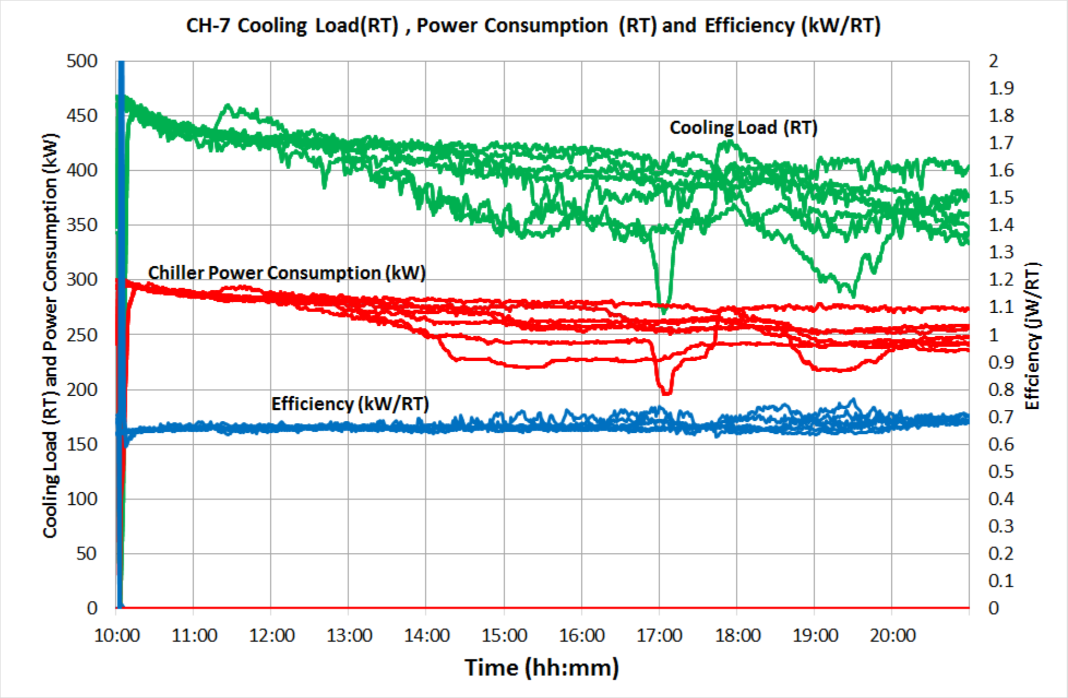


ပုံ - ၁၁ 500RT water cooled centrifugal chiller's chilled water and condenser water flow rate

500RT ၏ chilled water ဒီဇိုင်း flow rate သည် 1200GPM ဖြစ်သည်။ Chiller ကို ဒီဇိုင်း flow rate တွင် မောင်းနေ သည်ဟု ဆိုနိုင်သည်။ Chilled water pump သည် စမောင်းသည့်အချိန်မှ ရပ်သည့်အချိန်အထိ flow rate ပြောင်းလဲမှု မရှိပေ။ ဂရပ်ပေါ်တွင် flow rate လိုင်းသည် မျဉ်းဖြောင့်အတိုင်းဖြစ်နေသောကြောင့် VSD တပ်ဆင်ထားခြင်း မရှိ ကြောင်း သေချာသည်။

500RT chiller ၏ actual condenser water flow သည် 1360 GPM ခန့် ဖြစ်သည်။ Chilled water flow သည် 1200 GPM ခန့်ဖြစ်သည်။ AHRI condenser water flow rate သည် 3 GPM/RT ဖြစ်သောကြောင့် 500RT chiller ၏ condenser water flow rate သည် 1500GPM ဖြစ်သင့်သည်။ AHRI condenser water flow rate ထက် အနည်းငယ် နည်းသည်ဟု ဆိုနိုင်သည်။

AHRI chilled water flow rate သည် 2.4 GPM/RT ဖြစ်သောကြောင့် 500RT chiller ၏ condenser water flow rate သည် 1200GPM ဖြစ်သင့်သည်။ AHRI chilled water flow rate အတိုင်းမောင်းနေသည်ဟု ဆိုနိုင်သည်။

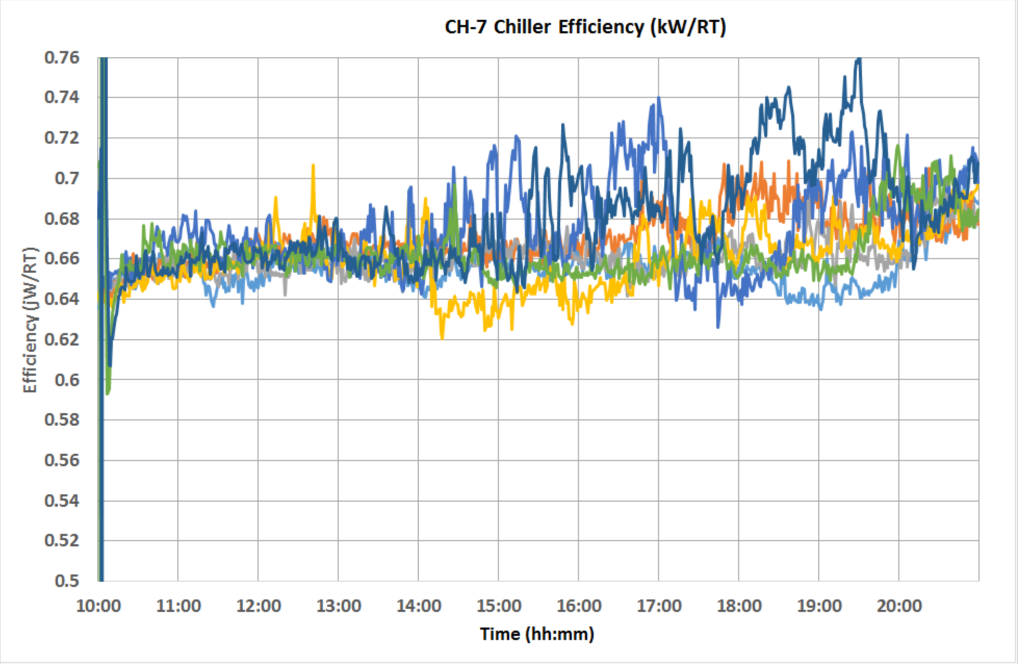


ပုံ - ၁၂ 500RT water cooled centrifugal chiller cooling load(RT), power consumption(kW) and efficiency (kW/RT)

CH – 7 ၏ daily cooling load သည် CH – 4 နှင့်နှိုင်းယှဉ်လျှင် အတက်အကျများသည်။ CH – 7 cooling load အတက်အကျများစေသည့် အချက် (၂) ချက်ရှိသည်။ (၁) CHW flow rate နှင့် (၂) CHW return temperature ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် flow ဂရပ်နှင့် return temperature ဂရပ်ကို ပြန်၍ စစ်ဆေးသင့်သည်။

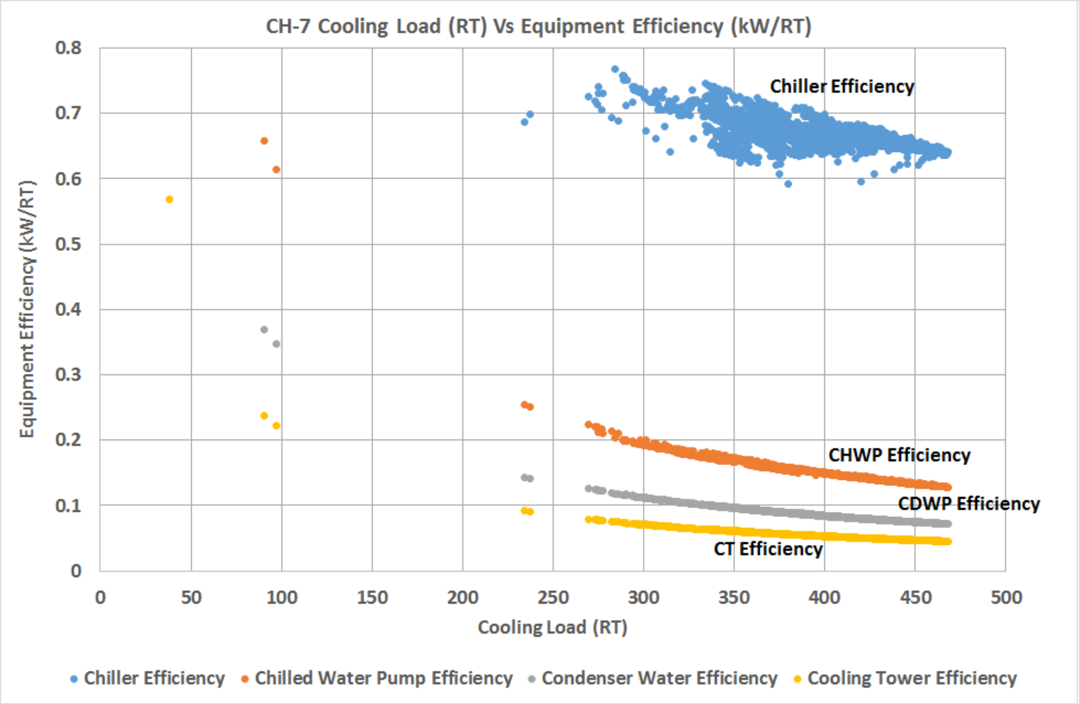
နေ့စဉ် flow သည် 1200GPM ခန့်တွင်မောင်းနေသည်ကို flow ဂရပ်၌ တွေ့မြင်နိုင်သည်။ Return temperature ဂရပ်တွင် return temperature သည် တစ်နေ့နှင့်တစ်နေ့ မတူညီသည်ကို တွေ့မြင်နိုင်သည်။ CH – 7 ၏ daily cooling load (RT) မတူညီရသည့် အကြောင်းမှာ chilled water return temperature မတူညီသောကြောင့်ဟု ကောက်ချက်ချ နိုင်သည်။

Cooling load နှင့် chiller အရွယ်အစား(size)တို့ ကိုက်ညီသည်ဟု ဆိုနိုင်သည်။



ပုံ - ၁၃ 1000RT water cooled centrifugal chiller efficiency (kW/RT)ကို စကေးချဲ့၍ ဆွဲထားသည့်ပုံ

ပုံ (-၁၃) သည် CH – 7 ၏ efficiency ကိုချဲ့၍ ဂရပ်ရေးဆွဲထားပုံ ဖြစ်သည်။ နံနက်(၁၀)နာရီမှ မွန်းလွဲ(၂) နာရီ(14:00) ခန့်အထိ နေ့စဉ် efficiency သည် ပြောင်းလဲမှုမရှိဟု ဆိုနိုင်သည်။ မွန်းလွဲ (၂)နာရီ နောက်ပိုင်းတွင် CH – 7 ၏ efficiency ပြောင်းလဲမှု များသည်။ အတက်အကျ များသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပုံမှန်ရရှိနေကျ efficiency ထက်ပိုဆိုးသည်ဟု ကောက်ချက်ချနိုင်သည်။

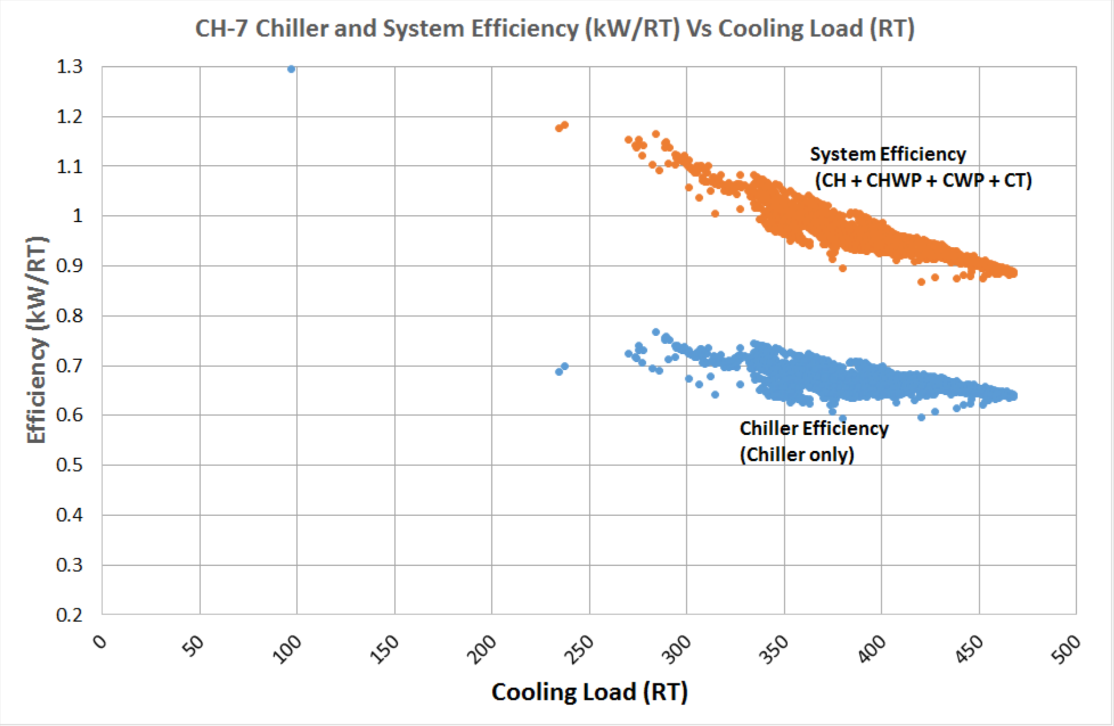


ပုံ - ၁၄ 1000 RT chiller efficiency ၊ chilled water pump ၊ condenser water pump နှင့် cooling tower efficiency တို့ကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားပုံ

ပုံ (-၁၄) တွင် chiller ၊ chilled water pump ၊ condenser water pump နှင့် cooling tower တို့၏ efficiency ကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားသည်။ CH – 7 သည် cooling load 300RT မှ 470RT အတွင်း မောင်းနေသည်။ မည်သည့် cooling load (RT)တွင် occurrence(%) မည်မျှဖြစ်ပေါ်သည်ကို histogram ဂရပ်ရေးဆွဲ(plot) ၍ စစ်ဆေးနိုင်သည်။

Chilled water pump ၏ efficiency (KW/RT)သည် အလွန်များသည်ဟု ကောက်ချက်ချနိုင်သည်။ ပျမ်းမျှအားဖြင့် 0.15 kW/RT ခန့်ဖြစ်သည်။ ရှေ့ပင်းစင်တာ အများစုရရှိနိုင်သည့် chilled water pump efficiency (kW/RT)သည် 0.05 kW/RT ထက် ပိုနည်း(ပိုကောင်း) သင့်သည်။

Condenser water pump ၏ efficiency သည် အနည်းငယ် များနေသည်ဟု ဆိုနိုင်သည်။



ပုံ - ၁၅ 500RT chiller efficiency နှင့် system efficiency ကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားပုံ

System effiency နှင့် chiller efficiency တို့ကို နှိုင်းယှဉ်၍ ဖော်ပြထားပုံဖြစ်သည်။

ပုံ - ၁၆ Power consumption Vs cooling load

-End-